

УДК 629.735.33

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕПРОДУКЦИИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЕМЛЕМОГО УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ В МАЛЫХ АВИАКОМПАНИЯХ

П.М. ПОЛЯКОВ, М.В. КАРМЫЗОВ, С.В. МОНАХОВА

Определение тенденций в изменениях показателей безопасности полетов и выработка необходимых мероприятий по их повышению в условиях малых авиакомпаний становится сложной задачей. В статье предлагается использование методов репродукции (размножения) статистической информации по безопасности полетов с целью определения приемлемого уровня безопасности полетов для малых авиакомпаний путем назначения доверительных интервалов. Подобный подход дает возможность получать искусственные случайные распределения, например, отклонений средней наработки на летное происшествие (инцидент) от математического ожидания такой наработки в условиях использования ограниченных статистических данных. По попаданию контролируемого показателя в тот или иной интервал можно судить о приемлемости оцениваемого уровня безопасности полетов, а также предлагать мероприятия по его снижению как минимум до приемлемого.

Ключевые слова: безопасность полетов, репродукция статистических данных, малые авиакомпании.

Современная концепция управления безопасностью полетов основывается на осознании того, что абсолютной безопасности достичь нельзя – полностью устранить происшествия (в том числе серьезные происшествия) невозможно. Неудачи будут всегда, несмотря на самые совершенные усилия по их предотвращению. Никакая деятельность человека или система, им созданная, не могут избежать риска и ошибок [2]. Речь может идти о приемлемом уровне безопасности полетов. В изначально безопасной системе приемлемы контролируемые риски ошибки [2].

Безопасность полетов – состояние, при котором риски, связанные с авиационной деятельностью, относящейся к эксплуатации воздушных судов или непосредственно обеспечивающей такую эксплуатацию, снижены до приемлемого уровня и контролируются [3].

В процессе выполнения полетов малыми авиакомпаниями у их руководства возникают трудности в определении целевых показателей безопасности полетов для оценки приемлемости их уровня. Производственный налет часов в таких компаниях и количество авиационных событий достаточно малы, чтобы на их основании проводить анализ уровня безопасности полетов. Определение тенденций в изменениях показателей безопасности полетов и выработка необходимых мероприятий по их повышению становится в подобной ситуации достаточно сложной задачей.

Для ее решения в данной статье предлагается подход, основанный на определении доверительных границ (интервалов) к оцениваемым показателям, таким как количество инцидентов, средний налет на одно событие и прочие, оценка которых позволит определять состояние безопасности полетов. В качестве исходной информации для установления доверительных интервалов планируется использовать данные, накопленные в авиакомпании за прошлые периоды эксплуатации. Поскольку приходится иметь дело с достаточно ограниченным (усеченным) количеством событий, то для повышения точности и достоверности получаемого результата будет применен математический метод, основанный на репродукции (размножении) статистических данных.

Подобный подход дает возможность получать искусственные случайные распределения, сколь угодно точно повторяющие неизвестные распределения, например, отклонений средней наработки на летное происшествие (инцидент) от математического ожидания такой наработки.

Подобный подход изучен широко известным отечественным математиком Ю.К. Беляевым [3, 8]. В области же гражданской авиации он впервые был рассмотрен в работах Е.Ю. Барзиловича, Б.В. Зубкова, А.В. Бецкова, С.А. Розова. [3, 5, 6, 7]. Вместе с тем в настоящее время использование подобного подхода для решения прикладных задач, особенно в гражданской авиации, когда почти всегда приходится работать с ограниченным числом статистической информации, в достаточной степени актуально.

Рассмотрим кратко общую схему сбора и обработки данных применительно к анализу безопасности полетов с использованием теории перевыборок (метод репродукции статистических данных) для определения показателей безопасности полетов при ограниченной статистике о летных инцидентах [5, 7].

Пусть $[\Omega, W(\Omega), P_0(\bullet)]$ будет базисным вероятностным пространством, где Ω – множество элементарных событий ω (количество авиационных инцидентов); $W(\Omega)$ – измеримое множество всех событий и $P_0(\bullet)$ – истинное вероятностное распределение на $[\Omega, W(\Omega)]$. Сбор данных можно понимать как последовательность экспериментов $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$. Результат i -го эксперимента представляется как точка $x_i \in X_i$, где X_i – множество значений x_i .

Вероятность того, что $X_i \in B$ задается как $P_{0,i}(B) = P_0(X_i(\omega) \in B)$, где $P_{0,i}(\bullet)$ принадлежит некоторому известному семейству распределений вероятностей, а θ_0 – истинное значение анализируемого параметра. Пусть $\hat{\theta}_n = S_n(x_1, x_2, \dots, x_n)$ будет состоятельной точечной оценкой θ_0 , т. е. $\hat{\theta}_n \rightarrow \theta_0, n \rightarrow \infty$. Нас интересует закон распределения отклонений $\hat{\theta}_n - \theta_0, n: L_{\theta_0, n} = L[\hat{\theta}_n - \theta_0]$. Если интересующий нас параметр $T_0 = T(\theta_0)$, то закон распределения отклонений $\hat{T}_n - T_0$ есть $L_{T(\theta_0), n} = L[\hat{T}_n - T_0]$, где $T_n^* = T_n(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – точечная оценка $T_0 = T(\theta_0)$.

Пусть эксперименты $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ выполняются в произвольном порядке, допустим, в таком: $\varepsilon_{i1}, \varepsilon_{i2}, \dots, \varepsilon_{in}$. Пусть первоначальные данные есть $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$, где $\{i_1, \dots, i_n\}$ – перестановка из $\{1, \dots, n\}$. Следовательно, $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ – случайная выборка из более общего объема возможных экспериментов. Эти данные можно размножить путем выборки с заменой из $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$, то есть осуществить генерацию копий статистических данных (x_1, x_2, \dots, x_n) . Таким образом мы получим больше знаний о распределении отклонений $T_0 = T(\theta_0)$. Сформулируем методику (компьютерный алгоритм) получения искусственного распределения $L_{n,K}^*$, которое будет асимптотически стремиться к $L_{T(\theta_0), n}$. Вот этот алгоритм:

1. Находят состоятельную оценку: $\hat{T}_n - T_0(x_1, x_2, \dots, x_n) = T(X_n)$.
2. Получают K случайных выборок с перевыборкой из первоначальных данных $x_n = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ такого же объема n :

$$\begin{aligned} X_n^{*1} &= (x_1^{*1}, x_2^{*1}, \dots, x_n^{*1}), \\ X_n^{*2} &= (x_1^{*2}, x_2^{*2}, \dots, x_n^{*2}), \\ X_n^{*K} &= (x_1^{*K}, x_2^{*K}, \dots, x_n^{*K}), \end{aligned}$$

где $X_n^{*q} = (1 \leq q \leq n)$ – перевыборочная копия первоначальных данных.

3. Если $T_0 = T(\theta_0)$ – интересующих нас параметр и его состоятельная оценка $T_n = T(X_n)$, то находят для каждого перевыборочной копии:

$$\begin{aligned} \hat{T}_n^{*1} &= T(X_n^{*1}), \\ \hat{T}_n^{*2} &= T(X_n^{*2}), \\ \hat{T}_n^{*K} &= T(X_n^{*K}). \end{aligned}$$

4. Определяют отклонения оцениваемых величин $\hat{T}_n^{*K} = (1 \leq m \leq q)$, (см. п. 3), т. е.:

$$\begin{aligned}\hat{T}_n^{*1} &= \hat{T}_n, \\ \hat{T}_n^{*2} &= \hat{T}_n, \\ \hat{T}_n^{*K} &= \hat{T}_n.\end{aligned}$$

4. После чего вычисляют перевыборочную версию для условного закона отклонений от \hat{T}_n^* , задаваемых через $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$: $L_{n,K}^* = L[(\hat{T}_n^{*K})/(x_1, x_2, \dots, x_n)]$ асимптотически приближающегося к $L_{T(\theta_0),n}$.

Применение приведенного алгоритма возможно к оценке показателей безопасности полетов, которые всегда определяются по ограниченной исходной статистике (несколько десятков инцидентов за несколько лет) [4].

Займемся оценкой показателя T_0 – математического ожидания. Имеем точечную оценку \hat{T}_n^* величины T_0 в виде $\bar{T}_n^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$, где T_i ($i = 1, \dots, n$) – количество авиационных событий, налет на один инцидент или наработка на отказ ВС за фиксированный период эксплуатации.

Пронумеруем все значения, отнесенные к фиксированному моменту (к которому уже произошло n инцидентов), и по ним будем (с помощью компьютера) осуществлять выборки с возвращением – перевыборки. При этом получим Q перевыборок одного и того же объема n (Q – сколь угодно велико, так как перевыборки осуществляет компьютер). Для каждой перевыборки получаем значения: $\hat{T}_{01}^*, \hat{T}_{02}^*, \dots, \hat{T}_{0Q}^*$.

Далее по реализации $\hat{T}_0 - \hat{T}_{01}^*, \hat{T}_0 - \hat{T}_{02}^*, \hat{T}_0 - \hat{T}_{0Q}^*$ строим закон распределения, получая распределение, асимптотически приближающееся (при $Q \rightarrow \infty$) к неизвестному распределению с реализацией: $\hat{T}_0 - \hat{T}_{0i}^*$ $i = 1, 2, \dots$ при $i \rightarrow \infty$, где i – число реализаций отклонений выборочного среднего (не перевыборочного) от перевыборочного. Но у нас всегда $i = 1$ (имеем одну выборку с фиксированным числом авиационных инцидентов), поэтому очень важно было получить асимптотическое распределение с использованием перевыборок. По такому распределению можно судить не только о точности оценки \hat{T}_0^* , но и определять, попала ли некоторая «чужеродная» величина – нормативный показатель наработки ВС на один инцидент в заданный доверительный интервал.

В рамках данной статьи рассмотрим пример использования данной методики для репродукции статистических данных по безопасности полетов для последующего их анализа. В качестве примера рассмотрим авиакомпанию ОАО «Ижавиа». Имеем ограниченную статистику за определенный отчетный период времени (5 лет). В период 2004–2008 годов на ВС данной компании произошло всего 11 инцидентов (таблица 1) и самолетный парк не обновлялся и составлял 12 машин.

Таблица 1

Распределение инцидентов с ВС авиакомпании ОАО «Ижавиа» по годам

Год	2004	2005	2006	2007	2008*	Всего
Количество инцидентов	4	4	2	0	1	11

Для сравнения с аналогичными отчетными периодами, согласно описанному алгоритму, проведем так называемую «репродукцию» имеющихся статистических значений. В данном примере проведем $Q = 5$ перевыборок от исходного распределения значений (таблица 2).

* Рассматриваемый период выбран из соображений корректности, стабильности парка ВС компании и его налета.

Таблица 2

Исходное распределение и перевыборочные копии

Порядковый номер	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5
Первыборочные копии					
X_1	2	4	4	1	4
X_2	0	4	2	4	2
X_3	2	0	4	4	2
X_4	2	1	4	4	1
X_5	4	0	1	0	4

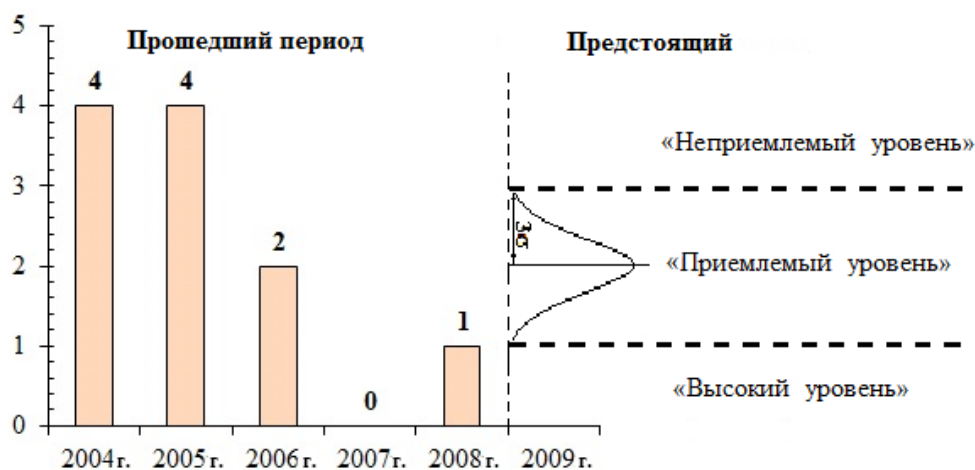
Проведем оценку полученного массива данных и определим средние значения $\hat{T}_{01}^*, \hat{T}_{02}^*, \dots, \hat{T}_{0Q}^*$ (таблица 3).

Таблица 3

Среднее значение

\hat{T}_{01}^*	\hat{T}_{02}^*	\hat{T}_{03}^*	\hat{T}_{04}^*	\hat{T}_{05}^*
2,33	2,17	2,83	2,17	2,33

Далее определим доверительный интервал распределения полученных величин. Рассчитаем значения среднеквадратического отклонения: $\sigma = \sqrt{D[\hat{T}^]}$ определяется как квадратный корень из дисперсии случайной величины. $D[\hat{T}^] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{T}_{0i}^* - \bar{T}^*)$. В результате вычисления получим следующие значения доверительного интервала: $\{3,1 \div 1,63\}$, которые отобразим на графике (см. рисунок).



Распределение доверительного интервала оцениваемых величин на предстоящий период оценки рассматриваемого показателя

Полученные доверительные интервалы можно условно обозначить как «Высокий», «Приемлемый» и «Неприемлемый». В зависимости от оцениваемых показателей безопасности полетов, значения границ доверительного интервала можно округлить до приемлемого уровня. По попаданию контролируемого значения в тот или иной интервал можно судить о приемлемости оцениваемого уровня безопасности полетов, а также предлагать мероприятия по его снижению как минимум до приемлемого.

Таким образом, согласно полученным значениям в рассматриваемом примере необходимо сделать следующий вывод о том, что в случае если в 2009 году количество произошедших инцидентов в ОАО «Ижавиа» составит от 1 до 3 инцидентов, то данная величина будет приемлемой. Как сказано выше, по аналогичной схеме возможно оценивать и другие показатели безопасности полетов как абсолютные, так и относительные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистические данные по авиационным событиям на воздушных судах 1–3 класса Российской Федерации. Росавиация, 2004–2008 год.
2. Doc 9858AN/474 Руководство по управлению безопасностью полетов ИКАО. 2013 год [Электронный ресурс]. URL: <http://www.caa.kg/downloads/doc9859.pdf>
3. Барзилович Е.Ю., Беляев Ю.К. Об алгоритме оптимального управления векторным случайным процессом // В сб. науч. трудов IX всесоюзной школы по надежности систем / Под ред. С.А. Томашева. Екатеринбург, 1990. 160 с.
4. Бецков А.В. Методика определения точности средних показателей безопасности полетов. Научный Вестник МГТУ ГА. 2001. № 35. С. 36–41.
5. Бецков А.В. Разработка и обоснование методики оценки показателей безопасности воздушного движения в Российской Федерации на основе ограниченной исходной статистике: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / МГТУ ГА. М., 2002.
6. Зубков Б.В. Методологические основы анализа и оценки безопасности полетов и летной годности воздушных судов: теория и практика: дис. ... доктора технических наук в форме науч. докл. / МГТУ ГА. М., 1997.
7. Розов С.А. Определение уровня безопасности полетов с учетом проявления человеческого фактора, внешней среды и безотказности авиационной техники: автореф. дис. ... кандидата технических наук / М.: МГТУ ГА, 2001.
8. Belyaev Yu.K. Central Limit Resampling Theorems for m – Dependent Heterogeneous Random Variable. Department, of Mathematical Umea. University. Umea, Sweden, Research Report. N 5. 1995.

THE APPLICATION OF REPRODUCTION OF STATISTICAL INFORMATION TO SOLVE PRACTICAL PROBLEMS OF DETERMINING THE ACCEPTABLE LEVEL OF FLIGHT SAFETY IN THE SMALL AIRLINES

Polyakov P.M., Karmyzov M.V., Monakhova S.V.

Determinating the tendencies in varying indices of flight safety and taking all the necessary measures to enhance flight safety for small airlines is becoming the complex problem. The article proposes the use of methods of the reproduction (multiplication) of statistical information on the flight safety, to determine the acceptable level of flight safety for small airlines via the designation of confidence intervals. A similar approach enables to obtain the artificial random distributions, for example, of the deviations of mean operating time of the flight accident (incident) from the mathematical expectation of this operating time under the conditions of using limited statistical data. On the entry of the controlled index, into one or another interval it is possible to judge the acceptability of the assessed risk of flight safety, and also to propose measures to decrease it as the minimum to the acceptable.

Key words: flights safety, reproduction (multiplication) of statistics, the small airline.

REFERENCES

1. Statisticheskie dannye po aviacionnym sobytijam na vozdushnyh sudah 1–3 klassa Rosijskoj Federacii. Rosaviacij, 2004–2008 god.

2. Doc 9858AN/474 Rukovodstvo po upravljenju bezopasnost'ju poletov IKAO 2013 god. URL: <http://www.caa.kg/downloads/doc9859.pdf>

3. **Barzilovich E.Ju., Beljaev Ju.K.** Ob algoritme optimal'nogo upravljenja vektornym sluchajnym processom. V sb. trudov IX shkoly po nadezhnosti bol'shih sistem. Ekaterinburg, 1990. 160 S.

4. **Beckov A.B.** Metodika opredelenija tochnosti srednih pokazatelej bezopasnosti poletov. Nauchny Vestnik MGTU GA. 2001. № 35. S. 36–41.

5. **Beckov A.V.** Razrabotka i obosnovanie metodiki ocenki pokazatelej bezopasnosti vozdušnogo dvizhenija v Rossijskoj Federacii na osnove ogranichennoj ishodnoj statistike: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk. MGTU GA. M., 2002.

6. **Zubkov B.V.** Metodologicheskie osnovy analiza i ocenki bezopasnosti poletov i letnoj godnosti vozdušnyh sudov (teorija i praktika) dis. ... d.t.n. MGTU GA. M., 1997.

7. **Rozov S.A.** Opredelenie urovnja bezopasnosti poletov s uchetom projavlenija chelovecheskogo faktora, vneshnej sredy i bezotkaznosti aviacionnoj tehniki: avtoreferat dissertacii ... k.t.n. M. MGTU GA, 2001.

8. **Belyaev Yu.K.** Central Limit Resampling Theorems for m – Dependent Heterogeneous Randow Variable. Department, of Mathematical Umea. University. Umea, Sweden, Research Report. N 5. 1995.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Поляков Павел Михайлович, доцент кафедры безопасности полетов и жизнедеятельности МГТУ ГА, rmpolyakov@mail.ru.

Кармызов Максим Валерьевич, кандидат технических наук, главный специалист департамента управления безопасностью полетов ПАО «Аэрофлот».

Монахова Светлана Валерьевна, кандидат технических наук, заведующий заочным отделением Егорьевского авиационного технического колледжа гражданской авиации – филиала МГТУ ГА.